



TUGAS AKHIR - TE 141599

**PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS OPTIMAL  
*DISTRIBUTED GENERATION* MENGGUNAKAN METODE  
*QUANTUM GENETIC ALGORITHM* UNTUK  
MENGHASILKAN RUGI DAYA MINIMUM**

Linda Rusdiana  
NRP 2212106010

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.  
Heri Suryoatmojo, ST, MT, Ph.D

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
SURABAYA 2015



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**OPTIMAL PLACEMENT AND SIZING OF DISTRIBUTED  
GENERATION USING QUANTUM GENETIC ALGORITHM  
FOR MINIMIZING LOSSES**

Linda Rusdiana  
NRP 2212106010

Adviser

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.  
Heri Suryoatmojo, ST, MT, Ph.D

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
SURABAYA 2015**

## HALAMAN PENGESAHAN

# **PENENTUAN LOKASI DAN KAPASITAS OPTIMAL DISTRIBUTED GENERATION MENGGUNAKAN METODE QUANTUM GENETIC ALGORITHM UNTUK MENGHASILKAN RUGI DAYA MINIMUM**

## TUGAS AKHIR

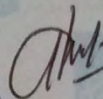
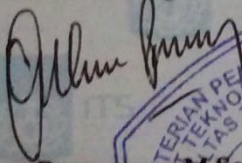
Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D

Heri Suryatmojo, ST, MT, Ph.D.

NIP. 194907151974121001

NIP. 198006032006041003



**DESEMBER, 2014**

## ABSTRAK

Beberapa teknologi telah diterapkan dalam aplikasi *Distributed Generation* dengan berbagai sumber terbarukan. Untuk mendukung pemanfaatan *Distributed Generation* (DG) dalam sistem pembangkitan diperlukan perencanaan yang baik termasuk menentukan lokasi penempatan dan besar daya keluaran DG. Dalam sistem kelistrikan terdapat beberapa kesulitan dalam pengaplikasian DG yaitu dalam menentukan lokasi unit DG, penentuan daya keluaran, dan jumlah unit DG yang akan ditempatkan yang apabila terjadi kesalahan akan berpengaruh terhadap keandalan unit DG, efisiensi bahan bakar unit DG dan rugi daya pada jaringan listrik.

Pada tugas akhir ini dilakukan analisis lokasi penempatan dan kapasitas DG menggunakan metode algoritma genetika quantum untuk menghasilkan rugi daya minimum dan dapat meningkatkan profile tegangan. Untuk menguji efektifitas metode ini akan diterapkan pada jaringan distribusi *loop* IEEE 30 bus. DG akan dipasang pada semua bus selain bus generator dan akan diukur rugi daya masing-masing busnya sebelum dan sesudah pemasangan DG yang berkapasitas 1-10 MW. Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk meminimalisasi jumlah rugi daya sistem dengan pemasangan DG pada bus yang terpilih berdasarkan optimasi algoritma genetika quantum menghasilkan rugi daya menurun dari 17,941 MW menjadi 11,166 MW sehingga menghasilkan penurunan rugi daya sebesar 6,775 MW

**Kata Kunci:** *Distributed Generation*, Algoritma Genetika Quantum, Minimalisasi Losses, Profile Tegangan

## ***ABSTRACT***

Several technologies have been applied in DG applications with various of renewable energy sources. To support using Distributed Generation (DG) on the generating system required good planning including determining the location and placement of the power output of DG. Electrical system that have some difficulties to applicated DG units such as determining location of DG units, output power and the number of DG units to be placed if error happen will affect the reliability of DG units, fuel efficiency and power losses DG units on the power grid

This final project will analysis placement and sizing of DG units using quantum genetic algorithms to minimizing losses and to improve voltage profile. To examine effectivity this methode will be used on the IEEE loop distribution system 30 buses. DG will be placed on all bus except the generator bus and slack bus and will be measure losses at each bus before and after DG placement with 1-10 MW capacity of DG. The simulation result show that the installation of DG on the selected bus based on optimation by quantum genetic algorithm result losses reduced from 17,941 MW to 11,116 MW so total of reduced losses is 6,775 MW.

**Keywords:** Distributed Generation, Quantum Genetic Algorithm, Minimalize Losses, Voltage Profile

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya. Tugas akhir berjudul “Penentuan Lokasi dan Kapasitas Optimal *Distributed Generation* Menggunakan Metode *Quantum Genetic Algorithm* Untuk Menghasilkan Rugi Daya Minimum” dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir disusun sebagai syarat kelulusan program Pendidikan Profesional Strata I Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya Fakultas Teknik Industri Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan baik secara materil maupun moril dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tulus penulis haturkan kepada :

1. Alm. Ayah, ibu dan keluarga, yang telah memberikan dukungan, kasih sayang dan doanya untuk membantu menyelesaikan laporan tugas akhir.
2. Dr.Tri Arief Sardjono, ST. MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph,D selaku pembimbing I dan Heri Suryoatmojo, ST, MT, Ph,D, selaku pembimbing II, yang telah membantu begitu banyak aspek materi dan teknis, tanpa mengenal situasi dan kondisi.
4. Ibu Ni Ketut Ariyani yang senantiasa membantu dan membimbing penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman-teman Lintas Jalur angkatan 2012 khususnya jurusan Teknik Sistem Tenaga yang telah banyak membantu serta dorongan semangat dengan suasana penuh kekeluargaan.

Laporan Tugas Akhir tidak terlepas dari kekurangan, karena keterbatasan dalam memperoleh dan menganalisa data. Kritik dan saran sangat membangun untuk kesempurnaan Laporan Tugas Akhir.

Surabaya, Januari 2015  
Linda Rusdiana

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Ruang Lingkup .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodogi Penulisan .....	3
BAB II DASAR TEORI .....	5
2.1. Distributed Generation.....	5
2.1.1 Tipe DG.....	6
2.1.2 Keuntungan Distributed Generation.....	8
2.2. Sistem Jaringan Distribusi .....	8
2.3. Aliran Daya.....	12
2.3.1 Persamaan Aliran Daya .....	13
2.3.2 Rugi-Rugi Dan Aliran Daya.....	14
2.4. Metode Newton-Raphson .....	15
2.5. Algoritma Genetika Quantum.....	18
2.5.1 Konsep Komputasi Quantum .....	18
2.5.2 Gerbang Rotasi (Q-Gate).....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1. Studi Literatur .....	23
3.2. Pengumpulan Data.....	23
3.3. Pemodelan Sistem Untuk Studi Aliran Daya.....	26
3.4. Algoritma Metode Penelitian.....	27
3.4.1 Flow Chart Penelitian .....	27
3.4.2 Fungsi Objektif Penelitian.....	29
3.4.3 Implementasi QGA untuk Optimasi Lokasi dan Kapasitas DG.....	29

BAB IV HASIL DAN ANALISA .....	31
4.1 Studi Aliran Daya Sistem Distribusi IEEE 30 bus Tanpa Menggunakan DG .....	31
4.2 Simulasi Optimasi DG Menggunakan Algoritma Genetika Quantum .....	35
4.3 Studi Aliran Daya Sistem Distribusi IEEE 30 bus Menggunakan DG .....	37
4.3 Perbandingan Berdasarkan Tegangan Kritis .....	43
BAB V PENUTUP .....	45
5.1. Kesimpulan.....	45
5.2. Saran.....	45



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Teknologi DG.....	7
<b>Tabel 3.1</b> Data bus jaringan distribusi IEEE 30 bus.....	24
<b>Tabel 3.2</b> Data saluran jaringan distribusi IEEE 30 bus .....	25
<b>Tabel 4.1</b> Daya Output Generator Hasil <i>Running Load Flow</i> Sistem IEEE 30 Bus Tanpa Menggunakan DG.....	31
<b>Tabel 4.2</b> Aliran Daya Hasil <i>Running Load Flow</i> Sistem IEEE 30 Bus Tanpa Menggunakan DG .....	32
<b>Tabel 4.3</b> Daya DG Hasil Optimasi.....	37
<b>Tabel 4.4</b> Daya Output Generator Hasil <i>Running Load Flow</i> Sistem Distribusi Dengan 14 Unit DG .....	37
<b>Tabel 4.5</b> Aliran Daya Hasil <i>Running Load Flow</i> Sistem Distribusi Dengan 14 Unit DG.....	38
<b>Tabel 4.6</b> Data Kapasitas DG Pada 13 Bus Tegangan Terendah.....	43

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Klasifikasi <i>Distributed Generation</i> .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Lokasi distribusi primer dan distribusi sekunder .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Sistem distribusi radial.....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Sistem distribusi loop.....	11
<b>Gambar 2.5</b>	Sistem distribusi spindel .....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Tipikal bus pada sistem jaringan tenaga listrik .....	13
<b>Gambar 2.7</b>	Pemodelan jaringan untuk perhitungan rugi daya .....	14
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Single Line Diagram</i> sistem 33 KV IEEE 30 Bus .....	23
<b>Gambar 3.2</b>	<i>Flow Chart</i> Penelitian .....	28
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Optimasi DG menggunakan Algoritma Genetika Quantum .....	36
<b>Gambar 4.2</b>	Daya Output dan Lokasi DG .....	36
<b>Gambar 4.3</b>	Perbandingan Profil Tegangan Antara Tanpa Pemasangan DG dan Dengan Pemasangan DG.....	42
<b>Gambar 4.4</b>	Perbandingan Pembangkitan Daya Aktif Antara Tanpa DG dan Dengan Pemasangan DG .....	43

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada umumnya pembangkit listrik konvensional didesain dalam skala besar, terpusat, dan dibangun jauh dari pusat beban sehingga membutuhkan jaringan transmisi dan distribusi yang panjang untuk menyalurkan daya listrik. Struktur jaringan transmisi dan distribusi pada pembangkit yang panjang dari pembangkit ke beban memiliki resiko gangguan eksternal dari alam yang cukup tinggi seperti angin, badai, kilat dan gangguan lainnya dan dapat disimpulkan pula apabila semakin panjang jaringan maka rugi daya yang dihasilkan pun semakin besar [1]. Saat ini kebijakan lingkungan pun mulai dikembangkan dan menjadi salah satu hal penting mengingat pada pembangkitan listrik umumnya mengakibatkan polusi berupa emisi gas sehingga diperlukan upaya-upaya teknis untuk mengurangi rugi-rugi daya tersebut dengan tetap memperhitungkan segi ramah lingkungannya. Salah satu upaya yang dilakukan untuk menangani hal tersebut adalah penggunaan pembangkit skala kecil yang dihubungkan pada jaringan distribusi atau dekat dengan beban pusat yang ramah lingkungan yang disebut *Distributed Generation*.

Dalam beberapa tahun terakhir ini pemanfaatan *Distributed Generation* berkembang sangat pesat dikarenakan *Distributed Generation* memiliki kelebihan dibandingkan dengan pembangkit konvensional dari segi ekonomi, lingkungan dan teknis. Kelebihan dari segi ekonomi meliputi mengurangi biaya distribusi dan transmisi, mengurangi harga listrik serta menghemat bahan bakar. Dari segi lingkungan yaitu mengurangi emisi gas terutama gas karbon karena umumnya teknologi *Distributed Generation* dari energi terbarukan yang memiliki emisi karbon rendah. Serta dari segi teknis yaitu mengurangi rugi-rugi saluran, meningkatkan profile tegangan sistem, meningkatkan stabilitas dan keandalan daya [2]. Beberapa penelitian dilakukan untuk menyelidiki potensi dampak dari tingkat penetrasi *Distributed Generation* yang tinggi dan menghasilkan beberapa algoritma aliran daya untuk menghasilkan *Distributed Generation* yang optimal pada masing-masing bus beban baik dari segi lokasi serta kapasitasnya. Penempatan dan penentuan kapasitas *Distributed Generation* yang optimum dapat mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan dan meningkatkan profile tegangan sistem. Untuk dapat menghasilkan lokasi

dan kapasitas DG yang optimum digunakan metode Algoritma Genetika Quantum. Metode Algoritma Genetika Quantum digunakan untuk menentukan lokasi dan kapasitas DG yang optimum dan power flow. Algoritma Genetik Quantum merupakan kombinasi dari Algoritma genetik dan *quantum computing* [3]. *quantum computing* mulai dikenalkan pada tahun 1980 dan dominan digunakan pada pengolahan daya reaktif dan kontrol tegangan [4]. Untuk menguji efektifitas metode ini akan diterapkan pada sistem IEEE 30 bus.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengembangkan metode perencanaan DG dalam penempatan dan penentuan kapasitas unit DG agar dapat menyediakan energi listrik secara optimal dan efisien.
2. Untuk menentukan mensimulasikan lokasi penempatan daya keluaran DG yang telah dioptimalkan pada sistem yang diujikan yaitu sistem IEEE 30 bus.

## 1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada tugas akhir ini meliputi :

1. Pengambilan data sistem distribusi *loop* yaitu menggunakan data bus tes sistem IEEE 30 bus
2. Analisis *load flow* dari *single line diagram* sistem distribusi yang akan diuji
3. Analisis lokasi serta kapasitas *Distributed Generation* bekerja secara optimal

## 1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada tugas akhir ini meliputi:

1. Sistem yang diuji adalah sistem distribusi *loop* IEEE 30 bus
2. Analisis optimasi *Distributed Generation* menggunakan metode Algoritma Genetika Quantum.
3. Dalam tugas akhir ini tidak membahas tipe *Distributed Generation* yang digunakan, hanya mencakup kapasitasnya saja.
4. Sistem pembangkit beroperasi normal dan tidak sedang dalam gangguan

## 1.5 Metodologi Penulisan

Metodologi penyelesaian masalah dalam pembuatan tugas akhir ini meliputi :

1. Metode literatur yaitu membaca dan mempelajari buku-buku literatur yang berkaitan dengan *Distributed Generation* dan metode Algoritma Genetika Quantum
2. Pengambilan data bus dan single line diagram dari sistem distribusi *loop* yang akan diuji.
3. Pembuatan analisis *load flow* dari *single line diagram* jaringan IEEE 30 bus untuk mengetahui rugi daya pada masing-masing tegangan bus menggunakan metode Newton-Raphson.
4. Analisis lokasi serta kapasitas *Distributed Generation* yang bekerja secara optimal menggunakan metode Algoritma Genetika Quantum.

*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1. Distributed Generation**

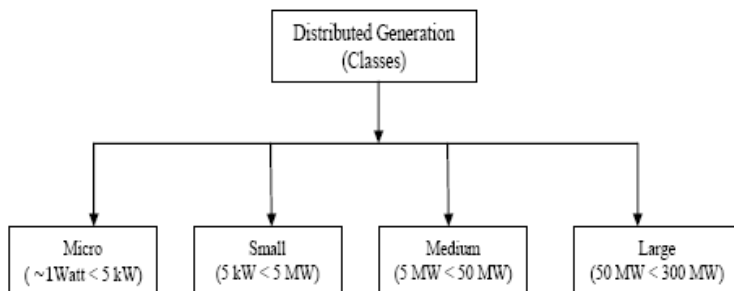
*Distributed Generation* (DG) atau dikenal dengan *Disperged Generation* (Amerika Utara), *Embedded Generation* (Amerika Selatan), *Decentralized Generation* (Eropa dan Asia), namun secara umum dikenal dengan nama *Distributed Generation* (DG) [5]. Istilah *distributed generation* sering digunakan pada sebuah pembangkitan listrik skala kecil yang terletak pada sistem distribusi tenaga listrik dan biasanya ditempatkan pada bus-bus yang terhubung langsung ke beban. Beberapa negara mendefinisikan *Distributed Generation* berdasarkan tingkat tegangan, sedangkan negara yang lain mendefinisikan *Distributed Generation* berdasarkan letak pembangkit pada sistem jaringan listrik. *Distributed Power Coalition Of America* (DPCA) mendefinisikan *Distributed Generation* yaitu teknologi pembangkitan energi listrik berskala kecil yang menghasilkan daya listrik di suatu tempat yang lebih dekat dengan konsumen dibandingkan dengan pembangkit listrik pusat dimana pembangkit dapat langsung dihubungkan dengan langsung ke konsumen atau ke sistem distribusi/distribusi milik *utility*. Disisi lain *International Council on Large Electricitcy System* (CIGRE) mendefinisikan *Distributed Generation* sebagai setiap unit pembangkit dengan kapasitas maksimum 50 MW sampai 100 MW yang biasanya terhubung ke jaringan distribusi. Sedangkan *Instiute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) mendefinisikan sebagai pembangkitan energi listrik yang dilakukan oleh peralatan yang lebih kecil dari pembangkit listrik pusat sehingga memungkinkan terjadi interkoneksi di hampir semua titik pada sistem tenaga listrik. Sehingga berdasarkan pengertian-pengertian diatas, istilah *Distributed Generation* (DG) secara umumnya adalah unit pembangkit listrik yang terhubung langsung ke jaringan distribusi atau di sisi konsumen dengan kapasitas yng relatif kecil (kurang dari 10 MW [6].

Dalam hal manfaat bagi sistem pembangkit, DG mempunyai banyak keuntungan, yaitu meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem serta dapat memperbaiki kualitas daya dan level tegangan. DG juga dapat memberikan berbagai layanan untuk utilitas dan konsumen, termasuk sebagai pembangkit siaga, pembangkit pendukung beban puncak, pembangkit beban dasar, pendukung penyediaan daya aktif,

pendukung penyediaan daya reaktif, pendukung tegangan, stabilitas jaringan, cadangan berputar, dan dapat menurunkan rugi daya pada jaringan [7]. Disamping keuntungan, DG pun dapat menimbulkan beberapa kerugian, misal menambah jumlah arus hubung singkat apabila terjadi gangguan pada sistem. Oleh karena itu, terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam pemasangan DG yaitu besar arus hubung singkat, level tegangan serta kerugian pada sistem. Salah satu hal yang sangat penting dalam pembahasan DG adalah mengenai penentuan letak dan kapasitas optimal apabila menghasilkan penambahan arus hubung singkat dan kerugian daya yang minimal serta level tegangan yang terjaga, yaitu berada antara nilai minimal dan maksimal [8]

### 2.1.1 Tipe DG

Dalam pengklasifikasian tipenya, secara umum DG dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan kapasitasnya yaitu bisa dapat dilihat pada gambar 2.1



**Gambar 2.1** Klasifikasi *Distributed Generation*

Tetapi pendefinisian kapasitas DG terdapat definisi yang berbeda-beda dan yang saat ini digunakan sebagai referensi adalah sebagai berikut:

1. The Electric Power Research Institute mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas beberapa kilowatt sampai dengan 50 MW.
2. Preston and Rastler mendefinisikan kapasitas DG mulai dari beberapa kilowatt hingga lebih dari 100 MW.



3. International Conference on Large High Voltage Electric Systems (CIGRE) mendefinisikan kapasitas DG berkisar antara 50-100 MW
4. Gas Research Institute menentukan DG sebagai pembangkit berkapasitas 25 KW hingga 100 MW

Selain itu juga terdapat kesepakatan antara pengarang dengan organisasi yang berbeda mengenai definisi dari tujuan DG yaitu tujuan DG adalah untuk menyediakan sumber daya listrik aktif. Berdasarkan definisi tujuan DG maka DG tidak dibutuhkan dalam penyediaan sumber daya listrik reaktif. Definisi lokasi DG pun bervariasi antara penulis yang berbeda. Sebagian besar penulis menentukan lokasi DG pada sisi jaringan distribusi, beberapa penulis lain menentukan lokasi DG pada sisi pelanggan bahkan beberapa penulis lokasi DG mencakup pada sisi jaringan transmisi [5].

**Tabel 2.1** Teknologi DG

Teknologi DG	Kapasitas DG
Combine Cycle Gas Turbine	35 KW – 400 MW
Internal Combustion Turbine	5 KW – 10 KW
Combustion Turbine	1 MW – 250 MW
Micro Turbines (MT)	35 KW-1 MW
<i>Renewable</i>	
Small Hydro	1 – 100 MW
Micro Hydro	25 KW – 1 MW
Wind Turbine (WT)	200 W- 3MW
Photovoltaic Array (PV)	20 W- 100 KW
Solar terminal, central receiver	1 MW- 80 MW
Solar terminal, Lutz system	10 MW – 80 MW
Biomass, e.g. based in gasification	100 KW – 20 MW
Fuel cells, phosacid	200 KW – 2 MW
Fuel cells, molten carbonate	250 KW – 2 MW
Fuel cells, proton exchange	1 KW – 2 MW
Fuel cells, solid oxide	250 KW – 5 MW
Geothermal	5 – 100 MW
Ocean Energy	100 KW – 1 MW
Stirling Engine	2 – 10 KW
Battery Storage	500 KW- 5 MW

### **1.1.2 Keuntungan Distributed Generation**

DG termasuk teknologi yang terus berkembang dan dapat beradaptasi dengan perubahan ekonomi dalam cara yang fleksibel karena ukurannya yang kecil dan konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan dengan pusat-pusat pembangkit konvensional.. Sebagian besar DG memang sangat fleksibel dalam beberapa hal seperti operasi, ukuran, dan kemajuan teknologi. Selain itu, DG dapat meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.

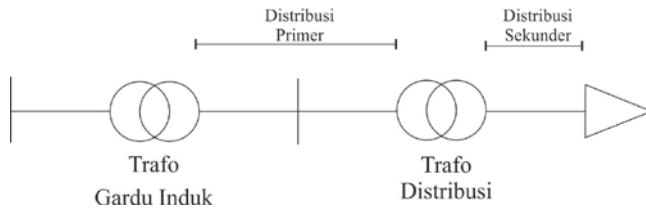
Dalam pemasangannya di jaringan distribusi, DG ditempatkan dekat dengan daerah beban dan beberapa keuntungan dalam pemakaian DG :

1. DG memberi keandalan yang lebih tinggi dalam pemanfaatan daya
2. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya
3. Dibandingkan dengan *power plants*, DG memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam penyaluran daya. Selain itu, bila dikoneksikan pada jaringan, DG dapat meningkatkan efisiensi sistem karena DG membantu mengurangi rugi-rugi pada sistem.
4. Dalam memproduksi energi listrik, DG bersifat ramah lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik oleh DG tergolong rendah, bahkan mendekati nol

### **2.2. Sistem Jaringan Distribusi**

Sistem distribusi adalah sistem yang penyaluran daya listriknya langsung terhubung dengan beban atau langsung ke pelanggan dalam sistem suplai energi listrik sehingga sistem ini lebih mendapatkan perhatian lebih dibandingkan sistem pembangkitan dan transmisi terutama oleh pelanggan. Jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi 2 menurut posisi yang ditunjukkan pada gambar 2.2 :

1. Jaringan distribusi primer ( jaringan distribusi tegangan menengah )
2. Jaringan distribusi sekunder ( jaringan distribusi tegangan menengah )



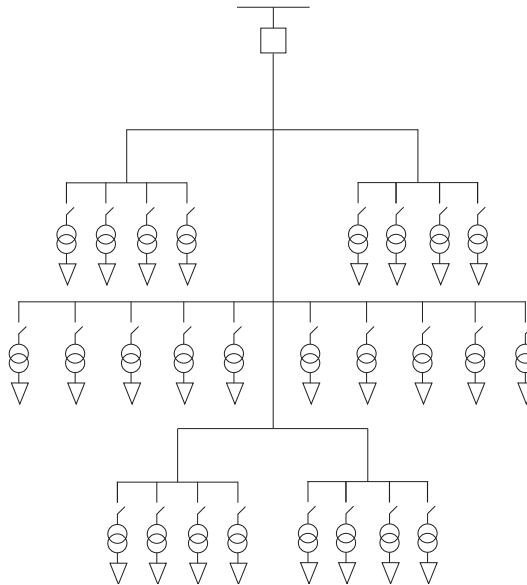
**Gambar 2.2** Lokasi distribusi primer dan distribusi sekunder

Jaringan distribusi primer menyalurkan tenaga listrik pada tegangan menengah. Lokasi jaringan tersebut terletak sebelum trafo distribusi. Jaringan tersebut menghubungkan antara sisi sekunder trafo gardu induk dengan sisi primer trafo distribusi. Pada Jaringan distribusi sekunder menyalurkan tenaga listrik pada tegangan rendah 220V/380V. Lokasi jaringan terletak setelah trafo distribusi. Jaringan distribusi sekunder menghubungkan sisi sekunder pada trafo distribusi dengan sisi konsumen.

Jaringan distribusi juga bisa dibagi berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi dibagi menjadi 3 konfigurasi :

a. Sistem Distribusi Distribusi Radial

Pada bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana dan banyak digunakan. Hal ini disebabkan biaya untuk membentuk jaringan ini cukup murah. Jaringan ini dinamakan jaringan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik sumber dan dicabang – cabangkan ke titik beban. Hal ini dapat diperlihatkan pada gambar 2.3



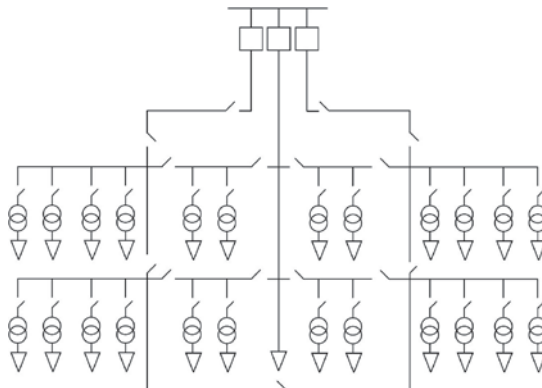
**Gambar 2.3** Sistem distribusi radial

Sumber yang berasal dari satu titik dan terdapat percabangan-percabangan penyebab perbedaan arus beban yang mengalir pada setiap saluran. Hal ini menyebabkan perbedaan luas penampang konduktor. Sehingga saluran yang lokasinya paling dekat dengan gardu induk maka memiliki luas penampang yang lebih besar dan saluran cabang-cabangnya semakin mendekati ujung maka luas penampang semakin kecil.

Pada konfigurasi ini memiliki kekurangan dalam hal kualitas pelayanan daya dan kontinuitas pelayanan kurang baik. Kualitas daya kurang baik disebabkan oleh rugi tegangan dan rugi daya yang relatif besar. Hal yang mempengaruhi semakin buruknya kualitas daya adalah besar nilai impedansi dan nilai arus yang melewati saluran. Konfigurasi ini memiliki kontinuitas yang kurang baik disebabkan hanya memiliki satu alternatif saluran. Sehingga saat saluran terjadi gangguan maka saluran sesudah gangguan akan mengalami pemadaman total selama permasalahan belum teratasi.

b. Sistem Jaringan Distribusi Loop

Pada konfigurasi ini membentuk jaringan tertutup sehingga memiliki nama lain yaitu jaringan ring. Konfigurasi jaringan memungkinkan beban dilayani oleh dua arah saluran sehingga kontinuitas pelayanan lebih baik. Kontinuitas daya lebih baik karena saat terjadi gangguan pada salah satu saluran maka saluran setelah gangguan mampu di suplai oleh sumber lain. Dapat terlihat pada gambar 2.4



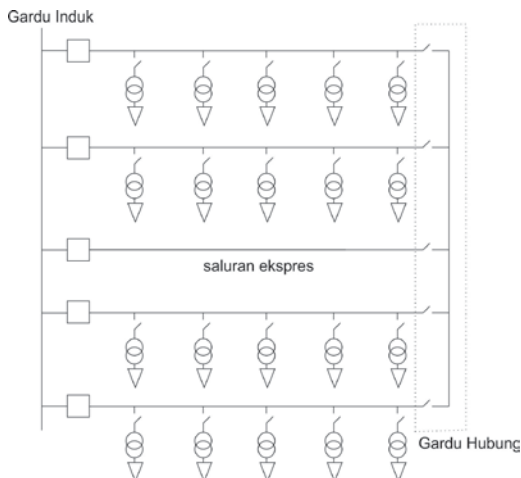
**Gambar 2.4** Sistem distribusi loop

Konfigurasi diatas membuat keandalan sistem jaringan ini lebih baik dari jaringan radial. Bentuk sistem jaringan distribusi loop ada dua macam, yaitu :

- Open Loop  
Salah satu bagian diantara gardu distribusi dilengkapi normally open switch sehingga saat keadaan normal rangkaian tersebut akan selalu terbuka.
- Close Loop  
Salah satu bagian diantara gardu distribusi dilengkapi normally close switch sehingga saat keadaan normal rangkaian tersebut akan selalu tertutup..Pada sistem ini memiliki kekurangan dalam hal investasi yang lebih mahal.Sistem ini digunakan pada daerah padat dan memerlukan keandalan tinggi.

c. Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Saluran konfigurasi spindel yang menggunakan kabel tanah tegangan menengah yang digunakan untuk kota-kota besar. Sistem jaringan spindle menggunakan saluran ekspres tidak dibebani dan dihubungkan dengan gardu hubung. Saluran ini digunakan untuk pemasok energi listrik cadangan untuk gardu hubung seperti pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Sistem distribusi spindel

Saat saluran mengalami gangguan, maka saklar pada bagian yang terganggu akan dibuka. Kemudian saluran lain yang terhubung oleh gardu hubung mendapat suplai dari saluran ekspres sehingga bagian yang tidak terganggu akan tetap tersuplai energi.

### 2.3. Aliran Daya [9]

Studi aliran daya atau yang biasa diketahui dengan sebutan *load flow*, merupakan bagian penting dari analisis aliran daya yang dibutuhkan untuk perencanaan, *economic scheduling*, dan pengontrolan sistem yang telah ada dan juga dapat merencanakan perluasan ke depannya. Informasi dasar yang diperoleh dari studi aliran daya adalah magnitudo dan sudut fasa tegangan pada setiap bus dan aliran daya reaktif dan aktif pada setiap saluran. Dalam pemecahan permasalahan

aliran daya, sistem diasumsikan dalam keadaan beroperasi dibawah kondisi seimbang. Pada sistem bus terdapat beberapa jenis bus, yaitu :

1. Bus Tidak Aktif (*Slack Bus*)  
Merupakan bus yang digunakan sebagai referensi dimana terdapat spesifikasi magnitudo dan sudut fasanya.
2. Bus Beban (*Load Bus*)  
Merupakan bus yang terdapat spesifikasi berupa daya aktif dan daya reaktif sedangkan magnitudo dan sudut fasanya tidak diketahui. Bus ini biasa disebut P-V Bus
3. *Voltage-Controlled Bus (Regulated Bus)*  
Bus ini merupakan bus generator yang memiliki spesifikasi berupa daya aktif dan magnitudo tegangannya. Batasan nilai untuk daya reaktif juga diketahui, Sudut fasa dari tegangannya tidak diketahui.

### 2.3.1 Persamaan Aliran Daya

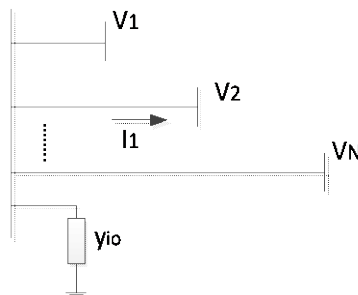
Berdasarkan tipikal bus dalam jaringan, ditunjukkan gambar 2.1, saluran mempunyai impedansi yang telah diubah menjadi admitansi untuk MVA *base* tertentu.

$$I_i = y_{i0} \cdot V_i + y_{i1} \cdot (V_i - V_1) + \dots + y_{iN} \cdot (V_i - V_N) \quad (2.1)$$

$$= (y_{i0} + y_{i1} + \dots + y_{iN}) \cdot V_i - y_{i1} \cdot V_1 - \dots - y_{iN} \cdot V_N$$

Persamaan diatas juga dapat ditulis menjadi :

$$I_i = V_i \cdot \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j \quad j \neq i \quad (2.2)$$



**Gambar 2.6** Tipikal bus pada sistem jaringan tenaga listrik

Daya nyata dan daya reaktif pada bus  $i$  adalah

$$P_i + Q_i = V_i \cdot I_i^* \quad (2.3)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.4)$$

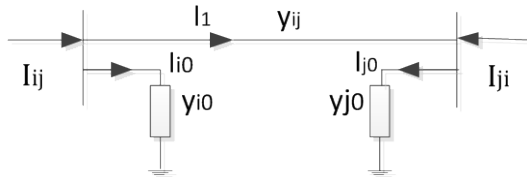
Dengan mensubstitusikan persamaan (2.2) ke (2.4)

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \cdot \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j \quad (2.5)$$

Dari penjabaran diatas, perhitungan aliran daya menghasilkan persamaan aljabar nonlinier yang harus diselesaikan dengan teknik iterasi.

### 2.3.2 Rugi-Rugi Dan Aliran Daya

Setelah tegangan bus pada setiap bus diperoleh maka langkah selanjutnya adalah perhitungan aliran daya dan rugi-rugi saluran. Beberapa metode yang umum digunakan untuk menghitung rugi-rugi daya antara lain Gauss-Seidel, Newton-Raphson, dan sebagainya.



**Gambar 2.7** Pemodelan jaringan untuk perhitungan rugi daya

Arus yang mengalir dari bus  $i$  ke  $j$  dapat ditulis sebagai berikut

$$I_{ij} = I_i + I_{i0} = y_{ij} (V_i - V_j) + y_{i0} \cdot V_i \quad (2.6)$$

Dengan cara yang sama, arus yang mengalir dari bus  $j$  ke bus  $i$  atau arus yang mengalir berlawanan dengan persamaan 2.6 adalah

$$I_{ji} = -I_i + I_{i0} = y_{ij} (V_j - V_i) + y_{j0} \cdot V_j \quad (2.7)$$



Selanjutnya perhitungan *losses* jaringan dapat dilakukan. Daya total  $S_{ij}$  yang mengalir dari bus  $i$  ke  $j$  dan total  $S_{ji}$  yang mengalir dari bus  $j$  ke  $i$  adalah

$$S_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* = V_i \left( \frac{V_i - V_j}{z_{ij}} + V_i Y_{ij0} \right)^* \quad (2.8)$$

$$S_{ji} = V_j \cdot I_{ji}^* = V_j \left( \frac{V_j - V_i}{z_{ji}} + V_j Y_{ji0} \right)^* \quad (2.9)$$

Sehingga rugi-rugi dari bus  $i$  ke  $j$  adalah penjumlahan aljabar dari aliran daya berdasarkan persamaan (2.8) dan (2.9)

$$S_{L\ ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.10)$$

Maka rugi saluran didapatkan dengan persamaan :

$$P_i = \sum_{j=1}^{no\ bus} (S_{ij} + S_{ji}) = \sum_{j=1}^{no\ bus} \{(P_{ij} + jQ_{ij}) + (P_{ji} + jQ_{ji})\} \quad (2.11)$$

## 2.4. Metode Newton-Raphson

Pada tugas akhir ini digunakan metode newton raphson yang memiliki keunggulan dibandingkan metode lainnya diantaranya yaitu dapat memecahkan persamaan aljabar nonlinear secara bersamaan. Metode ini diaplikasikan untuk mencari rugi-rugi daya pada sistem distribusi IEEE 30 bus. Penyelesaian aliran daya dengan metode Newton-Raphson didasarkan pada:

- Daya *Base* = 100 MVA
- Akurasi = 0,001
- Maksimum Iterasi = 100

Semua persamaan aliran daya dinyatakan dalam bentuk polar sehingga persamaan aliran daya dapat ditulis ulang sebagai berikut :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.12)$$

Persamaan (2.11) dapat ditulis ulang dalam bentuk polar menjadi

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.13)$$

$$P_i + Q_i = V_i \cdot I_i^* \quad (2.14)$$

Persamaan (2.13) dan (2.14) dapat ditulis ulang dalam bentuk polar menjadi

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle \delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.15)$$

Bagian real imajiner dipisahkan sehingga persamaannya menjadi:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.16)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.17)$$

Persamaan (2.16) dan (2.17) ke dalam bentuk *Taylor Series* sehingga didapatkan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \delta_n^{(k)} \\ \partial |V_2|^{(k)} \\ \vdots \\ \partial |V_n|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Persamaan 2.18 dapat ditulis ulang menjadi bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Dimana elemen  $\mathbf{J}_1$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.21)$$

Untuk elemen  $\mathbf{J}_2$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.23)$$

Untuk elemen  $\mathbf{J}_3$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.25)$$

Untuk elemen  $\mathbf{J}_4$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.27)$$

$\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  adalah selisih antara nilai yang diinputkan dengan nilai hasil perhitungan :

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (2.28)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (2.29)$$

Estimasi tegangan bus yang baru dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.30)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.31)$$

Proses iterasi akan berhenti jika persamaan berikut telah dipenuhi

$$|\Delta P_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (2.32)$$

$$|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (2.33)$$

## 2.5. Algoritma Genetika Quantum

Algoritma genetika quantum adalah algoritma evolusi dengan mencari ketidakpastian dari metode optimasi berdasarkan prinsip dari biologis alam. Algoritma genetika quantum diusulkan berdasarkan karakteristik latar belakang secara teoritis dan kemampuan pencariannya dibandingkan dengan algoritma genetika biasa. Hal ini didasarkan dari konsep teori quantum dimana satu *quantum state* (q-gene) dapat menunjukkan banyak state pada saat yang bersamaan. Biasanya algoritma genetika quantum digunakan untuk menentukan setting yang optimal pada variabel kontrol seperti magnitudo tegangan, tap trafo dan shunt VAR sebagai kromosom q dari algoritma genetika quantum untuk dua permasalahan optimasi yaitu pengurangan rugi daya pada saluran dan jumlah selisih tegangan pada bus beban.

### 2.5.1 Konsep Komputasi Quantum

Unit terkecil informasi disimpan pada dua keadaan/*State* yang disebut quantum bit atau qubit. Qubit dapat bernilai 1 atau 0 ataupun superposisi dari keduanya. *State* dari qubit adalah :

$$|\psi\rangle = |\alpha|^2 + |\beta|^2$$

Dimana,  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah bilangan kompleks yang menspesifikasikan kemungkinan amplitudo pada keadaan/*state* yang sesuai.  $\alpha$  menunjukkan kemungkinan bahwa qubit akan ditemukan pada *state* “0” dan  $\beta$  menunjukkan kemungkinan bahwa qubit akan ditemukan pada *state* “1”.

Normalisasi dari *state* untuk menjadi satu kesatuan yaitu :

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Satu Qubit didefinisikan dengan sepasang angka  $(\alpha, \beta)$  sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}$$

m-qubit dapat ditampilkan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_m \\ \beta_1 & \beta_2 & \dots & \beta_m \end{bmatrix}$$

Dimana  $|\alpha_i|^2 + |\beta_i|^2 = 1, i = 1, 2, 3, \dots, m$

Tampilan ini mempunyai keuntungan yaitu dapat menampilkan beberapa superposisi dari *state*. Contohnya yaitu tiga buah qubit dengan tiga pasang amplitudo :

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Sehingga *state* dari data diatas dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}|000\rangle + 0|001\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|010\rangle + 0|011\rangle + \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}|100\rangle + 0|101\rangle \\ & + \frac{1}{2\sqrt{2}}|110\rangle + 0|111\rangle \end{aligned}$$

Dari hasil diatas dapat disimpulkan kemungkinan tampilannya *state*  $|000\rangle, |010\rangle, |100\rangle$  dan  $|110\rangle$  adalah  $\frac{3}{8}, \frac{1}{8}, \frac{3}{8}$  dan  $\frac{1}{8}$ . Sehingga dalam tiga buah sistem qubit mempunyai empat informasi *state* pada saat yang bersamaan. Penggabungan juga dapat dihasilkan dengan

tampilan qubit. Seperti  $|\alpha|^2$  atau  $|\beta|^2$  yang mendekati 0 atau 1, *string* qubit bergabung menjadi *state* tunggal dan perbedaan menghilang secara bertahap.

### 2.5.2 Gerbang Rotasi (Q-Gate)

Q-gate (Gerbang rotasi) didefinisikan sebagai operator variasi pada QGA dengan cara memperbarui qubit dan sesuai dengan kondisi normal untuk menghasilkan populasi baru.  $|\alpha'|^2 + |\beta'|^2 = 1$ , dimana  $\alpha'$  dan  $\beta'$  adalah nilai qubit yang telah diperbarui. *State* qubit dapat berubah dengan mengoperasikan gerbang rotasi.

Gerbang rotasi yang digunakan sebagai qubit :

$$\begin{bmatrix} \alpha_j(t+1) \\ \beta_j(t+1) \end{bmatrix} = R_i(t) \times \begin{bmatrix} \alpha_j(t) \\ \beta_j(t) \end{bmatrix} \quad (j = 1, 2, \dots)$$

$$R_i(t) = \begin{bmatrix} \cos \Delta\theta_i & -\sin \Delta\theta_i \\ \sin \Delta\theta_i & \cos \Delta\theta_i \end{bmatrix} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Gerbang rotasi ( $R_i$ ) digunakan sebagai gerbang rotasi pada algoritma genetika quantum. Sedangkan  $\Delta\theta_i$  adalah sudut rotasi tiap anggota populasi.

$$\Delta\theta_i = \Delta f_i \times \text{sign}(\alpha_b - \alpha_j) \times \text{sign}[\beta_j \times \sin \Delta f_i - \alpha_j \times (1 - \cos \Delta f_i)]$$

Dimana :

$$\Delta f_i = \pi \times \left(1 - \frac{f(b)}{f(p_i(t))}\right) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\text{sign}(\alpha_b - \alpha_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } \alpha_b \geq \alpha_j \\ -1 & \text{if } \alpha_b < \alpha_j \end{cases}$$

$$\text{sign}[\beta_j \times \sin \Delta f_i - \alpha_j \times (1 - \cos \Delta f_i)]$$

$$= \begin{cases} +1 & \text{if } \beta_j \times \sin \Delta f_i \geq \alpha_j \times (1 - \cos \Delta f_i) \\ -1 & \text{if } \beta_j \times \sin \Delta f_i < \alpha_j \times (1 - \cos \Delta f_i) \end{cases}$$

$\Delta\theta_i$  berhubungan dengan perbedaan normalisasi  $\Delta f_i$  antara pencapaian masing-masing anggota populasi dan optimum terbaik secara keseluruhan. Nilai pada masing-masing populasi bergantung pada *sign*-nya lebih menuju  $|0\rangle$  atau  $|1\rangle$  Hasil dari *sign* dalam persamaan diatas akan menentukan arah rotasi dari  $\Delta\theta_i$ .

***- Halaman ini sengaja dikosongkan -***



## BAB III

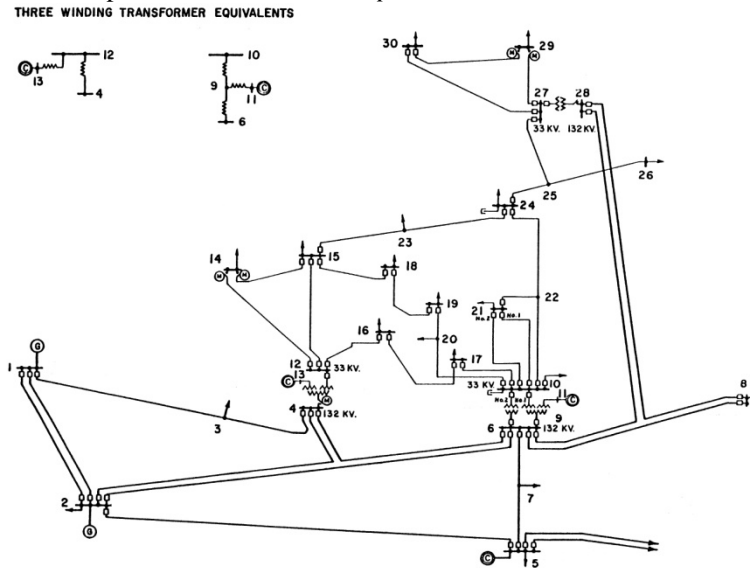
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Studi Literatur

Studi literatur diperoleh dari jurnal-jurnal internasional dan buku-buku teks yang relevan dengan bahasa penelitian. Jurnal yang digunakan sebagai literatur adalah IEEE Transaction on Power Systems dan ELSEVIER Sedangkan buku yang digunakan adalah buku *power system analysis* dan buku MATLAB.

#### 3.2. Pengumpulan Data

Data pembangkit tersebar (DG) yang digunakan pada tugas akhir ini adalah pada sistem distribusi *loop* IEEE 30 bus 33 KV.



**Gambar 3.1** Single Line Diagram sistem 33 KV IEEE 30 Bus

Single line diagram sistem tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1. Data generator dan beban pada sistem IEEE 30 bus ditunjukkan pada tabel 3.1, sedangkan untuk data salurannya pada tabel 3.2.

**Tabel 3.1** Data bus jaringan distribusi IEEE 30 bus

No Bus	Kode Bus	Vm	Beban		Generator				Static MVAR
			MW	MVAR	MW	MVAR	Qmin	Qmax	
1	1	1,06	0	0	260.2	-16.1	0	0	0
2	2	1.043	21.7	12.7	40	50	-40	50	0
3	0	1.021	2.4	1.2	0	0	0	0	0
4	0	1.012	7.6	1.6	0	0	0	0	0
5	2	1.01	94.2	19	0	37	-40	40	0
6	0	1.01	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1.002	22.8	10.9	0	0	0	0	0
8	2	1.01	30	30	0	37.3	-10	40	0
9	0	1.051	0	0	0	0	0	0	0
10	0	1.045	5.8	2	0	0	0	0	0.19
11	2	1.082	0	0	0	16.2	-6	24	0
12	0	1.057	11.2	7.5	0	0	0	0	0
13	2	1.071	0	0	0	10.6	-6	24	0
14	0	1.042	6.2	1.6	0	0	0	0	0
15	0	1.038	8.2	2.5	0	0	0	0	0
16	0	1.045	3.5	1.8	0	0	0	0	0
17	0	1.04	9	5.8	0	0	0	0	0
18	0	1.028	3.2	0.9	0	0	0	0	0
19	0	1.026	9.5	3.4	0	0	0	0	0
20	0	1.03	2.2	0.7	0	0	0	0	0
21	0	1.033	17.5	11.2	0	0	0	0	0
22	0	1.033	0	0	0	0	0	0	0
23	0	1.027	3.2	1.6	0	0	0	0	0
24	0	1.021	8.7	6.7	0	0	0	0	0.043
25	0	1.017	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1	3.5	2.3	0	0	0	0	0
27	0	1.023	0	0	0	0	0	0	0
28	0	1.007	0	0	0	0	0	0	0
29	0	1.003	2.4	0.9	0	0	0	0	0
30	0	0.992	7.6	1.9	0	0	0	0	0

Keterangan pada tabel 3.1 Data bus sistem jaringan IEEE 30 bus

- Kolom 1 merupakan nomor bus
- Kolom 2 berisi kode bus  
Kode 1 digunakan untuk *slack bus* atau *swing bus*. Bus ini digunakan sebagai referensi dimana magnitude dan sudut fasa tegangan sesuai

dengan yang telah ditetapkan. Sedangkan kode 2 digunakan untuk generator yang berfungsi sebagai *voltage control* yang disebut juga dengan P-V bus atau *Regulated busse*. Dan kode 0 digunakan untuk bus beban dimana P dan Q ditentukan, magnitude dan sudut fasa tegangan tidak diketahui disebut juga *load busses* atau P-Q bus.

- Kolom 3 merupakan magnitude tegangan per unit
- Kolom 4 dan 5 adalah beban dalam MW dan MVAR
- Kolom 6 dan 7 adalah MW dan MVAR pembangkitan
- Kolom 8 dan 9 adalah minimum MVAR dan maksimum MVAR pembangkitan
- Kolom 10 adalah *injected* MVAR berupa kapasitor shunt

**Tabel 3.2** Data saluran jaringan distribusi IEEE 30 bus

i - j	R (p.u)	X (p.u)	1/2 B (p.u)	Tap Setting
1 2	0.0192	0.0575	0	1
1 3	0.0452	0.1652	0	1
2 4	0.0570	0.1737	0	1
3 4	0.0132	0.0379	0	1
2 5	0.0472	0.1983	0	1
2 6	0.0581	0.1763	0	1
4 6	0.0119	0.0414	0	1
5 7	0.0460	0.1160	0	1
6 7	0.0267	0.0820	0	1
6 8	0.0120	0.0420	0	1
6 9	0.000	0.2080	0	0.978
6 10	0.000	0.5560	0	0.969
9 11	0.000	0.2080	0	1
9 10	0.000	0.1100	0	1
4 12	0.000	0.2560	0	0.932
12 13	0.000	0.1400	0	1
12 14	0.1231	0.2559	0	1
12 15	0.0662	0.1304	0	1
12 16	0.0945	0.1987	0	1
14 15	0.2210	0.1997	0	1
16 17	0.0524	0.1923	0	1

Lanjutan **Tabel 3.2**

i - j	R (p.u)	X (p.u)	1/2 B (p.u)	Tap Setting
15 18	0.1073	0.2185	0	1
18 19	0.0639	0.1292	0	1
19 20	0.0340	0.0680	0	1
10 20	0.0936	0.2090	0	1
10 17	0.0324	0.0845	0	1
10 21	0.0348	0.0749	0	1
10 22	0.0727	0.1499	0	1
21 22	0.0116	0.0236	0	1
15 23	0.100	0.2020	0	1
22 24	0.1150	0.1790	0	1
23 24	0.1320	0.2700	0	1
24 25	0.1885	0.3292	0	1
25 26	0.2544	0.3800	0	1
25 27	0.1093	0.2087	0	1
28 27	0	0.3960	0	0.968
27 29	0.2198	0.4153	0	1
27 30	0.3202	0.6027	0	1
29 30	0.2399	0.4533	0	1

Keterangan pada tabel 3.2 data saluran sistem distribusi IEEE 30 bus

- Kolom 1 menunjukkan *line bus number*
- Kolom 2 adalah nilai resistansi dalam p.u
- Kolom 3 adalah besarnya reaktansi dalam p.u
- Kolom 4 adalah  $\frac{1}{2}$  dari total *line charging* dalam p.u yang ditentukan MVA bus
- Kolom 5 adalah trafo *tap setting*. Untuk *line* di set 1.

### 3.3. Pemodelan Sistem Untuk Studi Aliran Daya

Untuk menganalisis aliran daya, pada tugas akhir ini menggunakan metode newton-raphson. Studi aliran daya ini digunakan untuk menganalisa aliran daya listrik dari saluran distribusi sampai ke konsumen. Aliran daya dengan metode newton-raphson pada sistem distribusi *loop* diaplikasikan untuk menghitung nilai rugi daya dan menyesuaikan nilai tegangan agar tidak melewati standar ketentuan

tegangan pada bus yaitu dengan  $V_{max}$  sebesar 1,05 p.u dan  $V_{min}$  sebesar 0,95 p.u.

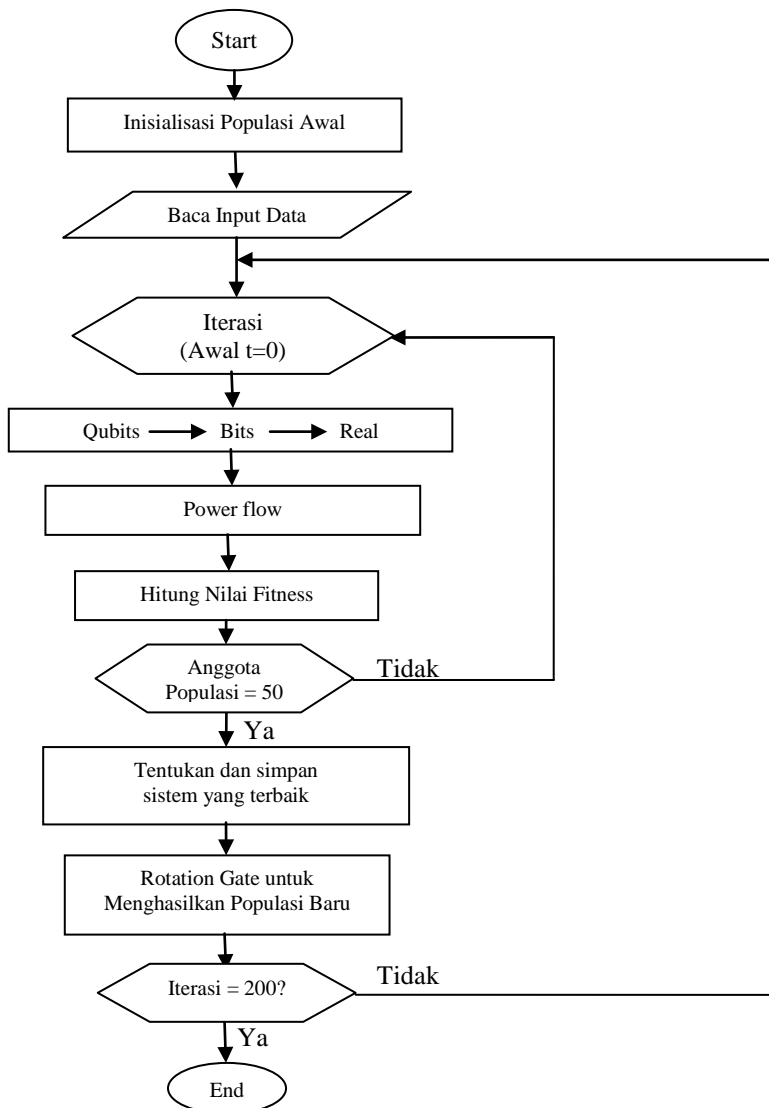
Berikut adalah prosedur penyelesaian aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson :

1. Menentukan nilai-nilai dari  $P_i^{sch}$  dan  $Q_i^{sch}$  pada bus yang berbeda. Pada bus beban dimana nilai  $P_i^{sch}$  dan  $Q_i^{sch}$  diketahui, maka besar tegangan dan sudut fasa disamakan dengan *slack bus* atau 1,0 dan 0.0 jadi  $|V_i^{(0)}|=1.0$  dan  $\delta_i^{(0)}=0.0$ . Untuk PQ bus dengan  $|V_i|$  dan  $P_i^{sch}$  ditentukan, sudut fasa yang disamakan dengan *slack bus* jadi  $\delta_i^{(0)} = 0$ .
2. Hitung  $P_i^k$  dan  $Q_i^k$  dengan persamaan (2.16) dan (2.17) serta  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  dengan persamaan (2.28) dan (2.29) untuk bus beban sedangkan pada PV bus hanya menghitung  $P_i^k$  dan  $\Delta P_i^{(k)}$  dengan persamaan (2.16) dan (2.28)
3. Hitung elemen-elemen matriks jacobian ( $J_1$ ,  $J_2$ ,  $J_3$  dan  $J_4$ ) dengan persamaan (2.20) – (2.27)
4. Persamaan linear simultan (2.19) dapat terselaikan dengan mengoptimalkan susunan *triangular factorization* dan eliminasi gauss.
5. Hitung nilai terbaru dari sudut fasa  $\delta_i^{(k+1)}$  dan tegangan  $|V_i^{(k+1)}|$  berdasarkan persamaan (2.30) dan (2.31). Proses akan terhenti hingga persamaan (2.32) dan (2.33) terpenuhi.

### 3.4. Algoritma Metode Penelitian

#### 3.4.1 Flow Chart Penelitian

Flow chart penelitian untuk penentuan lokasi dan kapasitas optimal DG. Algoritma genetika digunakan untuk menentukan kapasitas daya DG yang menghasilkan nilai rugi daya paling minimum. Berikut adalah flowchartnya pada Gambar 3.2



**Gambar 3.2** *Flow Chart* Penelitian

### 3.4.2 Fungsi Objektif Penelitian

Metode yang digunakan untuk menentukan letak DG yang paling optimal adalah dengan mencari losses paling minimum diantara bus yang dipasang DG dengan tetap memperhitungkan batasan dari kapasitas DG. Berikut adalah fungsi objektifnya :

- **Fungsi objektif dari tujuan metode**

$$\text{Min} \{P_l = \sum_{i=1}^{\text{bus no}} \sum_{j=1}^{\text{bus no}} (S_{ij} + S_{ji})\}$$

Persamaan ini adalah persamaan untuk menentukan rugi daya paling minimum dari keseluruhan optimasi letak dan kapasitas DG.

- **Batasan tegangan**

$$|V_{i \min}| \leq |V_i| \leq |V_{i \max}|$$

Batasan tegangan DG yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu  $|V_{i \min}|$  sebesar 0,95 p.u dan  $|V_{i \max}|$  sebesar 1.05 p.u

- **Batasan Kapasitas DG**

$$P_{DG \min} \leq P_{DG} \leq P_{DG \max}$$

Batasan kapasitas DG yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu  $P_{DG \min}$  sebesar 1 MW dan  $P_{DG \max}$  sebesar 10 MW

### 3.4.3 Implementasi QGA untuk Optimasi Lokasi dan Kapasitas DG

Pengaplikasian dari metode QGA untuk menentukan lokasi dan kapasitas optimal dari DG dibagi menjadi beberapa langkah yaitu :

1. Atur  $t = 0$
2. Inisialisasi populasi dari n-anggota populasi (*qubit string*)  
 $Q(0) = \{q_1(0), q_2(0), \dots, q_n(0)\}$

Sehingga masing-masing qubit ditunjukkan sebagai berikut:

$$q_1(0) = \begin{bmatrix} |\alpha_1(0)| & |\alpha_2(0)| & \dots & |\alpha_m(0)| \\ |\beta_1(0)| & |\beta_2(0)| & \dots & |\beta_m(0)| \end{bmatrix}$$

3. Inisialisasi amplifikasi amplitudo untuk tiap *qubit string* yaitu:

$$q_1(0) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \dots \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \dots \end{bmatrix}$$

4. Buat secara acak sekelompok  $P(0)$  dalam biner dengan mengobservasi *state* dari  $Q(0)$

$$P(0) = \{p_1(0), p_2(0), \dots, p_n(0)\}$$

Pada tugas akhir ini tiap DG ditampilkan dalam 8 bit biner. MSB menunjukkan lokasi keberadaan DG. Jika bit awal bernilai “1” maka DG berada pada bus dan daya output DG ditampilkan pada 7 bit sisanya dan juga berdasarkan matrix parameter input yang menunjukkan nilai  $P_{min}$  dan  $P_{max}$  DG. Jika MSB bernilai 0 maka menandakan bahwa DG tidak dipasang dan bus dianggap sebagai bus beban.

5. Evaluasi masing-masing  $p_i(0)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), dan siapkan matrix data bus.
6. Gunakan data bus untuk kemudian simulasikan load flow dan dapatkan nilai lossesnya. Untuk setiap bus yang terpasang DG maka kode bus akan berubah menjadi kode bus 2 atau bus generator.
7. Hitung fungsi objektif dan simpan nilai fitnessnya
8. Lakukan langkah (5) – (7) untuk tiap anggota populasi
9. Temukan anggota populasi dengan nilai fungsi objektif terbesar dan simpan sebagai pemenang dari iterasi
10. Lakukan iterasi selanjutnya ( $t = t + 1$ )
11. Buat kembali populasi selanjutnya dari populasi sebelumnya dengan memutar tiap anggota sehingga generasi yang terbaru semakin mendekati pemenang. Rotasi dilakukan menggunakan perhitungan gate rotasi.
12. Lakukan langkah (4), (5), (6) sebanyak yang dibutuhkan.
13. Solusi paling optimum adalah pemenang dari iterasi terakhir.



## BAB IV HASIL DAN ANALISA

### 4.1 Studi Aliran Daya Sistem Distribusi IEEE 30 bus Tanpa Menggunakan DG

Studi aliran daya digunakan untuk menganalisa aliran daya yang disalurkan dari saluran distribusi *loop* 33-KV dengan menggunakan metode newton-raphson. Daya output generator dan aliran daya tanpa menggunakan DG ditunjukkan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2

**Tabel 4.1** Daya Output Generator Hasil *Running Load Flow* Sistem IEEE 30 Bus Tanpa Menggunakan DG

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method Maximum Power Mismatch = 3.95447e-008 No. of Iterations = 10							
No. Bus	Tegangan		Beban		Generator		Injected MVAR
	Besar	Sudut	MW	MVAR	MW	MVAR	
1	1.050	0	0	0	258.191	37.973	0
2	1.023	-5.030	21.7	12.7	40.15	34.442	0
3	1.000	-7.297	2.4	1.2	0	0	0
4	1.012	-9.650	7.6	1.6	0	0	0
5	1.010	-14.421	94.2	19	0	36.196	0
6	1.008	-11.374	0	0	0	0	0
7	1.001	-13.153	22.8	10.9	0	0	0
8	1.010	-12.162	30	30	0	38.072	0
9	0.999	-14.692	0	0	0	0	0
10	0.977	-16.501	5.8	2	0	0	0.190
11	1.032	-14.692	0	0	0	23.607	0
12	0.995	-15.929	11.2	7.5	0	0	0
13	1.021	-15.929	0	0	0	26.126	0
14	0.978	-16.901	6.2	1.6	0	0	0
15	0.973	-16.949	8.2	2.5	0	0	0
16	0.979	-16.458	3.5	1.8	0	0	0
17	0.973	-16.737	9	5.8	0	0	0
18	0.961	-17.584	3.2	0.9	0	0	0
19	0.958	-17.744	9.5	3.4	0	0	0
20	0.962	-17.497	2.2	0.7	0	0	0
21	0.964	-16.990	17.5	11.2	0	0	0
22	0.965	-16.968	0	0	0	0	0

Lanjutan **Tabel 4.1**

No. Bus	Tegangan		Beban		Generator		Injected MVAR
	Besar	Sudut	MW	MVAR	MW	MVAR	
23	0.960	-17.272	3.2	1.6	0	0	0
24	0.952	-17.309	8.7	6.7	0	0	0.043
25	0.960	-16.987	0	0	0	0	0
26	0.942	-17.459	3.5	2.3	0	0	0
27	0.975	-16.485	0	0	0	0	0
28	1.006	-12.052	0	0	0	0	0
29	0.954	-17.844	2.4	0.9	0	0	0
30	0.942	-18.822	7.6	1.9	0	0	0
Total			280.4	126.2	298.341	196.416	0.233

**Tabel 4.2** Aliran Daya Hasil *Running Load Flow* Sistem IEEE 30 Bus Tanpa Menggunakan DG

Line Flow and Losses							
Line		Power at bus & line flow			Line Loss		Transformer Tap
from	To	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR	
1		258.350	37.973	261.125			
	2	178.100	18.229	172.393	5.078	15.209	
	3	86.923	19.744	89.137	3.196	11.682	
2		18.300	21.742	28.418			
	1	-166.348	-3.020	166.376	5.078	15.209	
	4	43.285	8.189	44.053	1.057	3.221	
	5	81.989	9.012	82.483	3.068	12.891	
	6	59.375	7.560	59.854	1.989	6.035	
3		-2.400	-1.200	2.683			
	1	-83.726	-8.062	84.114	3.196	11.682	
	4	81.326	6.862	81.615	0.879	2.523	
4		-7.600	-1.600	7.767			
	2	-42.228	-4.968	42.519	1.057	3.221	
	3	-80.448	-4.339	80.565	0.879	2.523	
	6	69.515	-4.062	69.633	0.592	2.059	
	12	43.002	11.770	47.057	0.000	5.051	0.932
5		-94.200	17.196	95.757			
	2	-78.920	3.879	79.016	3.068	12.891	
	7	-15.280	13.317	20.269	0.197	0.496	
6		0.000	0.000	0.000			
	2	-57.386	-1.525	57.406	1.989	6.035	
	4	-68.923	6.121	69.194	0.592	2.059	

Lanjutan **Tabel 4.2**

Line Flow and Losses							
Line		Power at bus & line flow			Line Loss		Transformer Tap
from	To	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR	
6	7	38.692	-0.645	38.697	0.415	1.276	
	8	29.191	-5.426	29.691	0.110	0.385	
	9	26.387	-5.334	26.920	0.000	1.498	0.978
	10	14.992	3.065	15.302	0.000	1.270	0.969
	28	17.047	3.744	17.454	0.053	0.190	
7		-22.800	-10.900	25.272			
	5	14.131	-14.019	19.905	0.169	-1.636	
	6	-36.931	3.119	37.063	0.367	-0.587	
8		-30.000	8.072	31.067			
	6	-29.081	5.810	29.656	0.110	0.385	
	28	-0.919	2.262	2.441	0.004	0.012	
9		0.000	-0.000	0.000			
	6	-26.387	6.831	27.257	0.000	1.498	
	11	0.000	-22.580	22.580	0.000	1.028	
	10	26.387	15.748	30.729	0.000	1.007	
10		-5.800	-1.810	6.076			
	6	-14.992	-1.795	15.099	0.000	1.270	
	9	-26.387	-14.741	30.225	0.000	1.007	
	20	8.421	0.979	8.478	0.067	0.150	
	17	4.993	-0.796	5.056	0.008	0.022	
	21	15.037	9.968	18.041	0.113	0.244	
	22	7.127	4.576	8.469	0.052	0.108	
11		0.000	23.607	23.607			
	9	0.000	23.607	23.607	0.000	1.028	
12		-11.200	-7.500	13.479			
	4	-45.561	-6.719	46.054	0.000	5.051	
	13	0.000	-25.292	25.292	0.000	0.833	
	14	8.247	12.025	9.039	0.094	0.194	
	15	18.448	8.111	22.021	0.299	0.588	
	16	7.666	8.785	11.660	0.120	0.251	
13		0.000	26.1261	26.126			
	12	0.000	26.126	26.126	0.000	0.833	
14		-6.200	-1.600	6.403			
	12	-8.153	-3.507	8.875	0.094	0.194	
	15	1.953	1.907	2.730	0.016	0.014	
15		-8.200	-2.500	8.573			
	12	-18.149	-11.437	21.452	0.299	0.588	

Lanjutan Tabel 4.2

Line Flow and Losses							
Line		Power at bus & line flow			Line Loss		Transformer Tap
from	To	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR	
	14	-1.937	-1.893	2.708	0.016	0.014	
	18	6.640	4.363	7.945	0.066	0.135	
	23	5.246	6.467	8.327	0.068	0.137	
16		-3.500	-1.800	3.936			
	12	-7.547	-8.534	11.392	0.120	0.251	
	17	4.047	6.734	7.856	0.032	0.116	
17		-9.000	-5.800	10.707			
	16	-4.015	-6.618	7.741	0.032	0.116	
	10	-4.985	0.818	5.051	0.008	0.022	
18		-3.200	-0.900	3.324			
	15	-6.574	-4.228	7.816	0.066	0.135	
	19	3.374	3.328	4.739	0.015	0.029	
19		-9.500	-3.400	10.090			
	18	-3.359	-3.298	4.708	0.015	0.029	
	20	-6.141	-0.102	6.142	0.013	0.026	
20		-2.200	-0.700	2.309			
	19	6.154	0.128	6.155	0.013	0.026	
	10	-8.354	-0.828	8.395	0.067	0.150	
21		-17.500	-11.200	20.777			
	10	-15.377	-9.724	17.812	0.113	0.244	
	22	-2.576	-1.476	2.969	0.001	0.002	
22		0.000	0.000	0.000			
	10	-14.924	-4.468	8.367	0.052	0.108	
	21	2.577	1.478	2.971	0.001	0.002	
	24	4.498	2.990	5.401	0.034	0.054	
23		-3.200	-1.600	3.578			
	15	-5.178	-6.329	8.178	0.068	0.137	
	24	1.978	4.729	5.126	0.035	0.072	
24		-8.700	-6.657	10.955			
	22	-4.463	-2.936	5.342	0.034	0.054	
	23	-1.943	-4.657	5.046	0.035	0.072	
	25	-2.294	0.937	2.478	0.012	0.021	
25		0.000	0.000	0.000			
	24	2.306	-0.915	2.481	0.012	0.021	
	26	3.548	2.375	4.269	0.048	0.072	
	27	-5.855	-1.457	6.033	0.042	0.079	

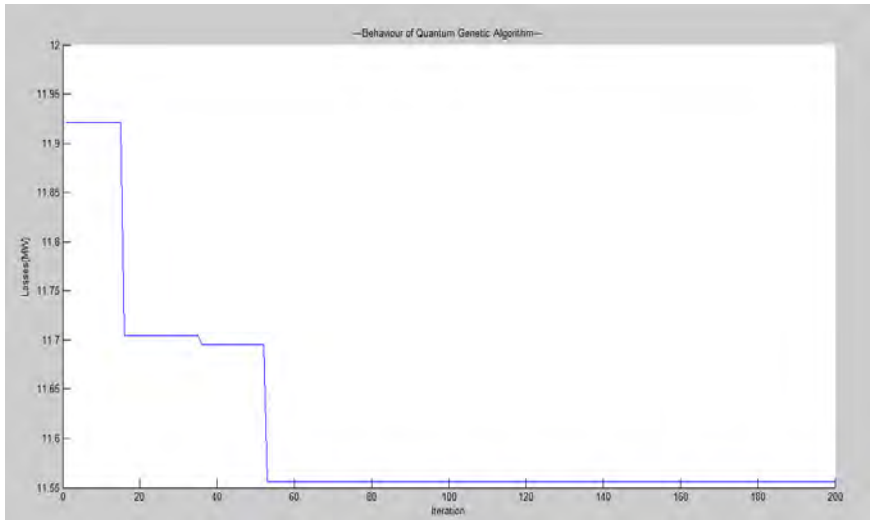
Lanjutan **Tabel 4.2**

Line Flow and Losses							
Line		Power at bus & line flow			Line Loss		Transformer Tap
from	To	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR	
26		-3.500	-2.300	4.188			
	25	-3.500	-2.300	4.188	0.048	0.072	
27		0.000	0.000	0.000			
	25	5.896	1.536	6.093	0.042	0.079	
	28	-16.071	-4.666	16.735	0.000	1.137	
	29	4.916	1.582	5.165	0.060	0.114	
	30	5.259	1.548	5.482	0.099	0.186	
28		0.000	0.000	0.000			
	27	16.071	5.804	17.087	0.000	1.137	0.968
	8	0.923	-2.249	2.431	0.004	0.012	
	6	-16.994	-3.554	17.362	0.053	0.190	
29		-2.400	-0.900	2.563			
	27	-4.856	-1.468	5.073	0.060	0.114	
	30	2.456	0.568	2.521	0.016	0.031	
30		-7.600	-1.900	7.834			
	27	-5.160	-1.363	5.337	0.099	0.186	
	29	-2.440	-0.537	2.499	0.016	0.031	
Total loss tanpa menggunakan DG					17.941	70.421	

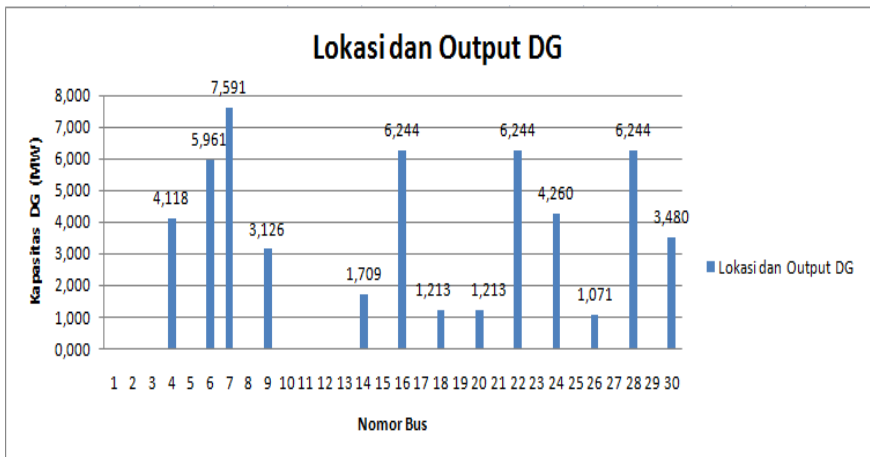
Pada tabel 4.1 dan 4.2 dapat diketahui bahwa dengan beban total sebesar 280.4 MW dan daya pembangkitan sebesar 298,341 MW dihasilkan rugi daya sebesar 17.941 MW.

## 4.2 Simulasi Optimasi DG Menggunakan Algoritma Genetika Quantum

Dalam optimasi menggunakan algoritma genetika quantum ini, DG dipasang pada semua bus beban yang berkode bus 0 kecuali pada bus generator dan *slack bus* yang kapasitasnya berkisar dari 1-10 MW. Pada sistem distribusi *loop* IEEE 30 bus ini terdapat 1 buah *swing* bus, 5 buah generator bus dan 24 buah bus beban. Sehingga kemungkinan pemasangan DG ada pada 24 bus beban. Berikut ini adalah grafik dari hasil optimasi menggunakan algoritma genetika quantum pada gambar 4.1.



**Gambar4.1** Grafik Optimasi DG menggunakan Algoritma Genetika Quantum



**Gambar 4.2** Daya Output dan Lokasi DG

Pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa optimasi dengan menggunakan algoritma genetika quantum rugi daya akan semakin menurun. Dapat dilihat pula bahwa optimasi konvergen ketika iterasi ke 139 yang menandakan bahwa nilai rugi daya distribusi terkecil atau fitness tertinggi dicapai ketika iterasi ke 53 dengan kapasitas tiap unit DG tercantum dalam tabel 4.3:

**Tabel 4.3** Daya DG Hasil Optimasi

No. Bus	Kapasitas DG Terpasang (MW)
4	4.118
6	5.961
7	7.591
9	3.126
14	1.709
16	6.244
18	1.213
20	1.213
22	6.244
24	4.260
26	1.071
28	6.244
30	3.480

### 4.3 Studi Aliran Daya Sistem Distribusi IEEE 30 bus Menggunakan DG

**Tabel 4.4** Daya Output Generator Hasil *Running Load Flow* Sistem Distribusi Dengan 13 Unit DG

No Bus	Tegangan		Beban		Generator		Injected MVAR
	Besar	Sudut	MW	MVAR	MW	MVAR	
1	1.05	0	0	0	198.943	-4.391	0
2	1.043	-4.176	21.7	12.7	40.150	41.925	0
3	1.021	-5.847	2.4	1.2	0	0	0
4	1.012	-7.029	7.6	1.6	4.118	-7.161	0
5	1.010	-12.054	94.2	19	0	37.496	0
6	1.010	-8.316	0	0	5.961	-16.596	0
7	1.002	-10.139	646	170	7.591	-3.230	0

**Lanjutan Tabel 4.4**

No Bus	Tegangan		Beban		Generator		Injected MVAR
	Besar	Sudut	MW	MVAR	MW	MVAR	
8	1.010	-8.998	30	30	0	37.741	0
9	1.041	-10.359	0	0	0	6.063	0
10	1.039	-11.614	5.8	2	0	0	0.190
11	1.040	-10.359	0	0	0	16.126	0
12	1.046	-11.367	11.2	7.5	0	0	0
13	1.041	-11.367	0	0	0	11.732	0
14	1.042	-12.008	6.2	1.6	1.709	-0.157	0
15	1.037	-12.073	8.2	2.5	0	0	0
16	1.045	-11.367	3.5	1.8	6.244	1.032	0
17	1.036	-11.763	9	5.8	0	0	0
18	1.028	-12.501	3.2	0.9	1.213	-0.581	0
19	1.026	-12.668	9.5	3.4	0	0	0
20	1.030	-12.468	2.2	0.7	1.213	3.053	0
21	1.031	-11.942	17.5	11.2	0	0	0
22	1.033	-11.892	0	0	6.244	8.560	0
23	1.027	-12.182	3.2	1.6	0	0	0
24	1.021	-11.975	8.7	6.7	4.260	3.907	0.043
25	1.010	-11.374	0	0	0	0	0
26	1.000	-11.746	3.5	2.3	1.071	1.251	0
27	1.008	-10.790	0	0	0	0	0
28	1.007	-8.530	0	0	6.244	14.418	0
29	0.996	-11.452	2.4	0.9	0	0	0
30	0.992	-11.681	7.6	1.9	3.480	0.639	0
Total			280.4	126.2	291.566	122.990	

**Tabel 4.5** Aliran Daya Hasil *Running Load Flow* Sistem Distribusi Dengan 13 Unit DG

Line Flow and Losses							
Line		Power at bus & line flow			Line Loss		Transformer Tap
from	To	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR	
1		198.943	-4.391	198.992			
	2	136.932	-12.245	137.478	3.219	3.801	
	3	62.012	7.854	62.507	1.588	2.089	
2		18.450	29.225	34.562			
	1	-133.713	16.046	134.673	3.219	3.801	
	4	33.042	6.523	33.679	0.610	-2.027	



**Lanjutan Tabel 4.5**

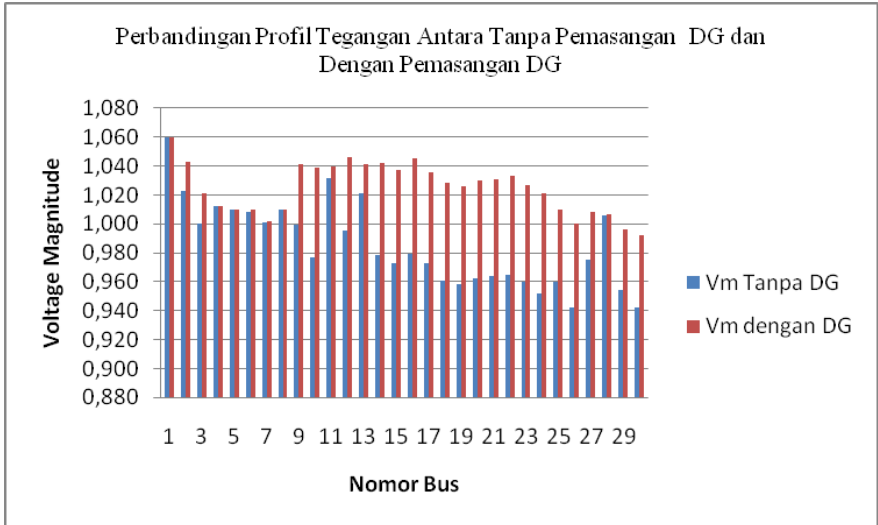
Line Flow and Losses							
Line		Power at bus & line flow			Line Loss		Transformer Tap
from	To	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR	
	5	73.946	2.496	73.988	2.382	5.603	
	6	45.175	4.160	45.366	1.110	-0.572	
3		-2.400	-1.200	2.683			
	1	-60.423	-5.765	60.698	1.588	2.089	
	4	58.023	4.565	58.203	0.429	0.365	
4		-3.482	-8.761	9.428			
	2	-32.432	-8.550	33.540	0.610	-2.027	
	3	-57.594	-4.201	57.747	0.429	0.365	
	6	52.677	-10.091	53.635	0.333	0.239	
	12	33.867	14.080	36.677	0.000	2.921	0.932
5		-94.200	18.496	95.999			
	2	-71.564	3.107	71.631	2.382	5.603	
	7	-22.636	15.389	27.371	0.353	-1.175	
6		5.961	-16.596	17.634			
	2	-44.065	-4.732	44.318	1.110	-0.572	
	4	-52.344	10.330	53.353	0.333	0.239	
	7	38.589	-2.954	38.702	0.391	-0.520	
	8	26.765	-7.934	27.917	0.091	-0.600	
	9	18.605	-8.744	20.558	0.000	0.824	0.978
	10	11.201	1.033	11.248	-0.000	0.648	0.969
	28	7.209	-3.594	8.055	0.010	-13.186	
7		-15.209	-14.130	20.760			
	5	22.989	-16.564	28.334	0.353	-1.175	
	6	-38.198	2.434	38.276	0.391	-0.520	
8		-30.000	7.741	30.983			
	6	-26.674	7.334	27.664	0.091	-0.600	
	28	-3.326	0.406	3.350	0.011	-4.318	
9		3.126	6.063	6.821			
	6	-18.605	9.569	20.922	0.000	0.824	
	11	0.000	-15.664	15.664	0.000	0.462	
	10	21.731	12.158	24.901	0.000	0.617	
10		-5.800	-1.810	6.076			
	6	-11.201	-0.385	11.208	-0.000	0.648	
	9	-21.731	-11.541	24.606	0.000	0.617	
	20	7.949	0.732	7.983	0.055	0.123	
	17	4.102	2.080	4.599	0.006	0.017	

**Lanjutan Tabel 4.5**

Line Flow and Losses							
Line		Power at bus & line flow			Line Loss		Transformer Tap
from	To	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR	
	21	10.767	5.561	12.118	0.047	0.102	
	22	4.314	1.743	4.653	0.015	0.030	
11		0.000	16.126	16.126			
	9	-0.000	16.126	16.126	0.000	0.462	
12		-11.200	-7.500	13.479			
	4	-33.867	-11.160	35.658	0.000	2.921	
	13	0.000	-11.564	11.564	0.000	0.168	
	14	6.116	2.722	6.694	0.049	0.103	
	15	14.350	7.882	16.372	0.159	0.314	
	16	2.201	4.619	5.117	0.022	0.047	
13		0.000	11.732	11.732			
	12	-0.000	11.732	11.732	0.000	0.168	
14		-4.491	-1.757	4.823			
	12	-6.066	-2.619	6.607	0.049	0.103	
	15	1.575	0.862	1.795	0.007	0.006	
15		-8.200	-2.500	8.573			
	12	-14.191	-7.568	16.083	0.159	0.314	
	14	-1.568	-0.856	1.787	0.007	0.006	
	18	4.629	2.016	5.049	0.025	0.052	
	23	2.930	3.908	4.885	0.022	0.045	
16		2.744	-0.768	2.850			
	12	-2.179	-4.573	5.065	0.022	0.047	
	17	4.923	3.805	6.222	0.019	0.068	
17		-9.000	-5.800	10.707			
	16	-4.904	-3.736	6.165	0.019	0.068	
	10	-4.096	-2.064	4.586	0.006	0.017	
18		-1.987	-1.481	2.479			
	15	-4.604	-1.964	5.005	0.025	0.052	
	19	2.616	0.483	2.660	0.004	0.009	
19		-9.500	-3.400	10.090			
	18	-2.612	-0.474	2.655	0.004	0.009	
	20	-6.888	-2.926	7.484	0.018	0.036	
20		-0.987	2.353	2.552			
	19	6.906	2.962	7.515	0.018	0.036	
	10	-7.894	-0.609	7.917	0.055	0.123	
21		-17.500	-11.200	20.777			
	10	-10.719	-5.459	12.029	0.047	0.102	

**Lanjutan Tabel 4.5**

Line Flow and Losses							
Line		Power at bus & line flow			Line Loss		Transformer Tap
from	To	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR	
	22	-6.781	-5.741	8.885	0.009	0.018	
22		6.244	8.560	10.595			
	10	-4.300	-1.713	4.628	0.015	0.030	
	21	6.789	5.759	8.903	0.009	0.018	
	24	3.754	4.514	5.871	0.037	0.058	
23		-3.200	-1.600	3.578			
	15	-2.908	-3.864	4.836	0.022	0.045	
	24	-0.292	2.264	2.282	0.007	0.013	
24		-4.440	-2.750	5.223			
	22	-3.717	-4.456	5.803	0.037	0.058	
	23	0.298	-2.250	2.270	0.007	0.013	
	25	-1.021	3.956	4.085	0.030	0.053	
25		0.000	0.000	0.000			
	24	1.051	-3.903	4.042	0.030	0.053	
	26	2.447	1.075	2.673	0.018	0.027	
	27	-3.498	2.828	4.498	0.022	0.041	
26		-2.429	-1.049	2.646			
	25	-2.429	-1.049	2.646	0.018	0.027	
27		0.000	0.000	0.000			
	25	3.520	-2.786	4.489	0.022	0.041	
	28	-10.106	0.500	10.118	0.000	0.399	
	29	3.444	1.228	3.656	0.029	0.055	
	30	3.142	1.058	3.315	0.035	0.065	
28		6.244	-14.418	15.712			
	27	10.106	-0.101	10.106	0.000	0.399	
	8	3.337	-4.725	5.784	0.011	-4.318	
	6	-7.198	-9.592	11.993	0.010	-13.186	
29		-2.400	-0.900	2.563			
	27	-3.415	-1.174	3.611	0.029	0.055	
	30	1.015	0.274	1.051	0.003	0.005	
30		-4.120	-1.261	4.308			
	27	-3.108	-0.992	3.262	0.035	0.065	
	29	-1.012	-0.268	1.047	0.003	0.005	
Total loss dengan 13 unit DG					11.166	-2.977	



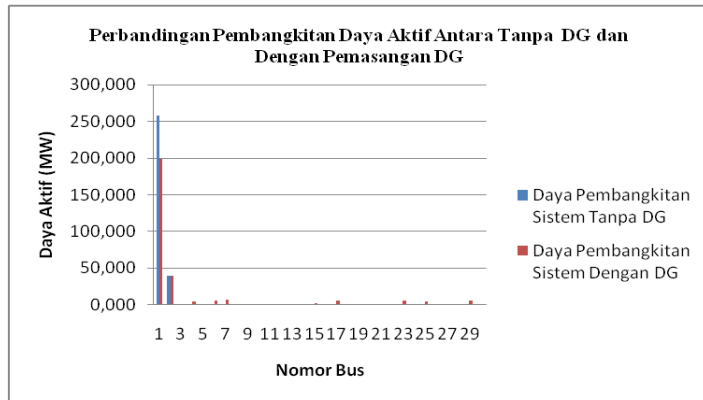
**Gambar 4.3** Perbandingan Profil Tegangan Antara Tanpa Pemasangan DG dan Dengan Pemasangan DG

Berdasarkan gambar 4.3 dapat dilihat perbandingan profil tegangan tanpa dan dengan pemasangan DG. Salah satu keuntungan dari penempatan DG ini yaitu dapat memperbaiki profil tegangan dalam batasan yang diizinkan. Dengan beban yang konstan maka rugi daya saluran dapat dikurangi dengan memperkecil arus saluran yaitu dengan meningkatkan profil tegangan sistem.

Beberapa keuntungan dari peningkatan profil tegangan sistem adalah:

1. Lebih sedikit terjadi penurunan tegangan. Penurunan tegangan pada jalur distribusi bergantung pada tahanan, reaktansi jalur dan arus yang terambil. Untuk jumlah daya yang dialirkan sama, tegangan yang lebih tinggi menghasilkan arus yang terambil yang lebih rendah dan penurunan tegangan yang lebih rendah.
2. Rugi daya yang dihasilkan lebih kecil. Rugi daya pada saluran sebanding dengan hambatan  $R$  dan kuadrat dari arus ( $P_{loss}=I^2.R$ ). Sehingga tegangan yang lebih tinggi menghasilkan arus yang lebih rendah dan rugi daya pun akan rendah maka efisiensi akan meningkat

- Konduktor yang lebih kecil karena tegangan yang lebih tinggi menghasilkan arus yang lebih kecil sehingga hanya diperlukan konduktor dengan ukuran yang kecil untuk mengalirkan arus.



**Gambar 4.4** Perbandingan Pembangkitan Daya Aktif Antara Tanpa DG dan Dengan Pemasangan DG

Perbandingan pembangkitan daya aktif sistem sebelum dan sesudah dioptimasi ditunjukkan pada gambar 4.4. Total daya pembangkitan sistem setelah dilakukan optimasi pemasangan 13 unit DG mengalami penurunan dari sebesar 298.341 MW menjadi 291.566 MW dan terjadi penurunan rugi daya sebesar 6,775 MW.

#### 4.4 Perbandingan Berdasarkan Tegangan Kritis

Dilakukan perbandingan pemasangan kapasitas DG pada 13 bus dengan tegangan terendah untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan oleh algoritma genetika quantum tersebut optimal. Hal ini dilakukan dengan menempatkan kapasitas DG yang telah didapatkan dengan metode algoritma genetika quantum ke 13 bus tegangan terendah.

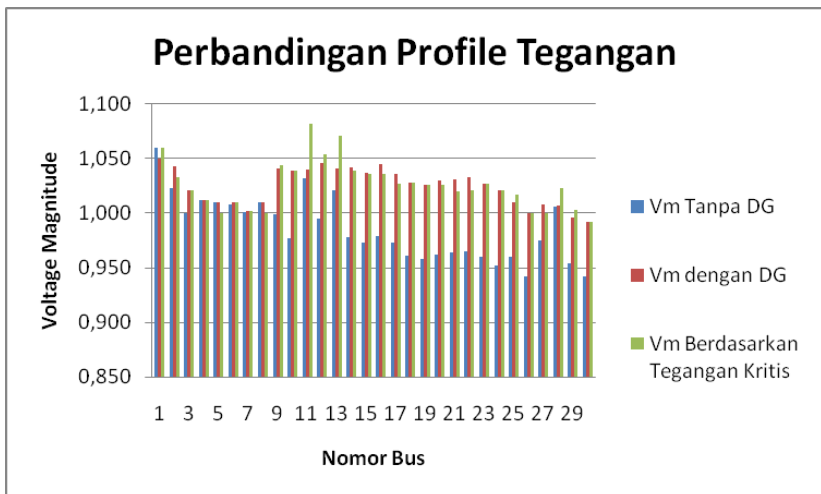
**Tabel 4.6** Data Kapasitas DG Pada 13 Bus Tegangan Terendah

Nomor Bus	V <sub>m</sub>	Kapasitas DG (MW)
30	0,992	7,591
26	1,000	6,244
7	1,002	6,244

Nomor Bus	V <sub>m</sub>	Kapasitas DG (MW)
29	1,003	6,244
28	1,007	5,961
6	1,01	4,260
4	1,012	4,118
25	1,017	3,480
3	1,021	3,126
24	1,021	1,709
27	1,023	1,213
19	1,026	1,213
23	1,027	1,071

Dari hasil *load flow* didapatkan rugi daya yang dihasilkan sebesar 11,844 MW. Rugi daya yang dihasilkan lebih besar dibandingkan optimasi menggunakan algoritma genetika quantum sebesar 11,166 MW . Berikut adalah grafik perbandingan tegangan tanpa pemasangan DG, tegangan berdasarkan tegangan terendah serta dengan optimasi menggunakan algoritma genetika quantum

**Gambar 4.5** Perbandingan Profil Tegangan Tanpa Pemasangan DG, Pemasangan DG dengan Optimasi Algoritma Genetika Quantum dan Berdasarkan Tegangan Kritis



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari studi “Penentuan Lokasi Dan Kapasitas Optimal *Distributed Generation* Menggunakan Metode *Quantum Genetic Algorithm* Untuk Menghasilkan Rugi Daya Minimum” adalah sebagai berikut:

1. Algoritma genetika quantum merupakan salah satu algoritma yang efisien digunakan dalam menentukan lokasi serta kapasitas DG yang dapat memperbesar penurunan rugi daya sistem distribusi *loop*.
2. Semakin tepat pengalokasian dan penentuan kapasitas DG dalam sebuah jaringan distribusi, maka rugi daya yang dihasilkan akan minimum serta memperbaiki profil tegangan sistem.
3. Dalam hal pengaplikasian Algoritma Genetika Quantum digunakan sistem distribusi *loop*, dan rugi daya sistem setelah dilakukan optimasi dengan 13 unit DG menurun dari 17,941 MW menjadi 11,166 MW sehingga menghasilkan penurunan rugi daya sebesar 6,775 MW.
4. Optimasi konvergen ketika iterasi ke 53 yang menandakan bahwa nilai rugi daya distribusi terkecil dicapai ketika iterasi ke 53 dengan pemasangan DG secara berturut-turut pada bus 4 sebesar 4,118 MW, bus 6 sebesar 5,961 MW, bus 7 sebesar 7,591 MW, bus 9 sebesar 3.126 MW, 12, bus 14 sebesar 1.709 MW, bus 16 sebesar 6,244 MW, bus 18 sebesar 1,213 MW, bus 20 sebesar 1,213 MW, bus 22 sebesar 6.244 MW, bus 24 sebesar 4.260 MW, bus 26 sebesar 1.071MW, bus 28 sebesar 6.244 MW dan bus 30 dengan kapasitas 3.480 MW.

#### **5.2. Saran**

Dalam penelitian ini, optimasi penentuan lokasi dan kapasitas DG tidak memperhatikan tipe DG yang digunakan dan hanya melihat dari daya outputnya. Untuk penelitian selanjutnya dapat memperhitungkan tipe DG yang digunakan, aspek lain seperti koordinasi untuk lebih dari satu buah DG dan perhitungan biaya.

*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Elias K. Bawan, Dampak Pemasangan *Distributed Generation* Terhadap Rugi-Rugi Daya. Jurnal Ilmiah Foristek Vol.2, No.21, September 2012.
- [2] Aryani, N.K, Abdillah, M, Sulistya Negara, I.M, Soeprijanto, A, *Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation Using Quantum Genetic Algorithm for Reducing Losses and Improving Voltage Profile*. IEEE Trans Power Syst (2011)
- [3] Zakaria L, Salim C, *Comparison Genetic Algorithm and Quantum Genetic Algorithm*. The International Arab Journal of Information Technologi, Vol 9. No 3, May 2012
- [4] John G. Vlachogiannis a,\*, Jacob Ostergaard, *Reactive Power and Voltage Control Based on General Quantum Genetic Algorithms*. ELSEVIER, Expert Systems with Applications 36 (2009).
- [5] Thomas Ackerman, Goran Andersson, Lennart Soder, *Distributed Generation: a definition*. Electric Power Systems Research 57, Elsevier, 2001, pp.195-204.
- [6] K. Purchala, R. Belmans. "Distributed Generation and Grid Integration Issues". *Imperial College*, London (2003)
- [7] Wang C, Nehrir MH, "Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power System", IEEE Trans Power Syst; 19(4):2068-76, 2004
- [8] M. Elnashar, Ramadan El Shatshat, Magdt M.A. Salama. "Optimum Siting and Sizing if A Large Distributed Generator in A Mesh Connected System". Electric Power System Research, 80.(2009) 690-697.
- [9] Hadi Saadat, "*Power System Analysis*", McGraw-Hill, Singapore, (2004).
- [10] Pavlos S. Georgilakis, *Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research*. IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 28, No. 3, August 2013
- [11] Zakaria H, Ahmad, Anam, S, Robandi, I. "Penempatan dan Penentuan Kapasitas *Distributed Generation* (DG) menggunakan *Artificial Bee Colony* (ABC). Jurnal Teknik ITS Vol. 1, No. 1, Sept 2012

- [12] V.Ravikumar Pandi, H.H. Zeinelden, Weidong Xiao, "Determining Optimal Location and Size of Distributed Generation Resources Considering Harmonic and Protection Coordination Limits", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 28, No. 2, *May* 2013

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Linda Rusdiana, lahir di Jakarta pada hari tanggal 16 Oktober 1991, penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN Malaka Sari 04 Pagi Jakarta pada tahun 2003, menyelesaikan sekolah menengah pertama di SMPN 213 Jakarta pada tahun 2006, selanjutnya melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas dan menyelesaikannya pada tahun 2009 yaitu di SMAN 81 Jakarta, dan mengambil program diploma di Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) program studi elektronika dan selesai pada tahun 2012, selanjutnya melanjutkan program Strata satu di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga, dan selesai pada tahun 2015.